

電氣接点の接觸抵抗に関する二三の実験

保 科 正 吉

(工学部電氣工学科)

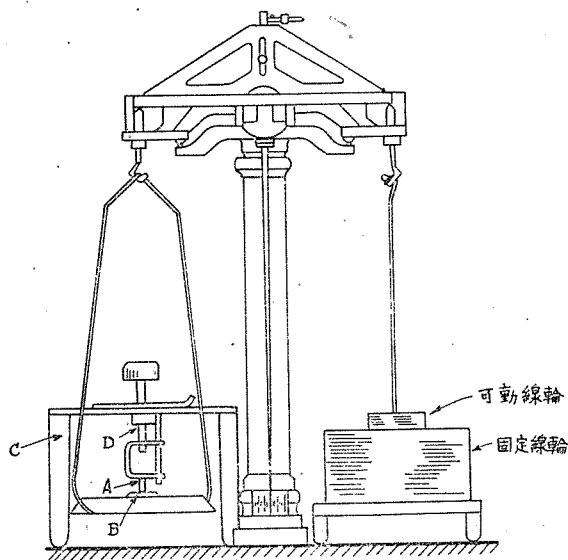
1. 緒 言

従来各種の電氣回路に於て接点の故障に依る障礙が極めて多いと云われながら、その現象の原因の多岐複雑性に依りその根本的対策には見る可きものが少く、又接觸抵抗そのものに対する理論的實驗的研究も極めて多いに不拘、未だ決定的結論を得るに至つて居ないのが現状である。接觸不良の原因を究明するためにはどうしても接点表面に生ずる皮膜が問題になりこの皮膜に関する性質を明かにする必要がある。そのため特別に測定装置を考案し二三の実験を試みた。又接点が実地に使用されて居る状態でその故障を検知することは現場に於る實際問題としても、亦接点不良の実態を明かにする上からも極めて必要であるので、その様な目的に適する測定装置を考案し、それに依り一二の実験を行つた、以下それ等について述べる。

2. 測定装置

2.1. 可變微小圧力加圧装置

接点間に加わる圧力が大きいと少々の皮膜は機械的に破壊するから、皮膜の影響を問題にする場合にはそのような薄い皮膜も傷けないように特に微小圧力を加える装置が必要である。このため次に述べるような天秤を応用する方法を考案した。第1圖はその装置を示す。



第1圖 可變微小圧力加圧装置

圖に於て天秤の一方の皿の上に接点の一つ B をのせ他の接点 A は別に作つた三脚台 C に取付けたネジ D の先につけ上下出来るようにし、且つこれは上下動のみで回轉は行わないようにしてある。B 接点は直徑 0.15mm の細い銅線に接続し、電氣的に取り出される。この引出線の堅さが天秤の感度に甚大な影響をもつから出来るだけ細い線を用い且つ螺旋形にしてその影響を出来るだけ少くした。但しこの引出し線の影響もこの場合零点の位置が決定されればそこに固定して使用するのであるから、圧力の測定そのものにはあまり支障を來さない。

次に天秤の他の腕からは皿を取り外しその代り捲数約 2000 の小線輪をつり下げ、それが台にとりつけた固定線輪（捲数約 600）の中で自由に上下動することが出来るようにした。この両線輪に流す電流を変えることに依り兩者間に働く吸引力は 1mg より 200g まで即ち 2×10^5 倍の範囲に変えること

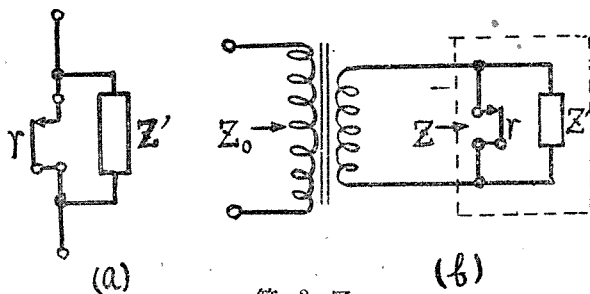
が出来る。

以上の装置に於て接点を或る圧力を以つて接触せしめるには次の如き順序で行う。まづネジ D をまわして接点 A を一応上げ B から離して皿の上下動にさわらないようにして置き接点 B 並にその引出し線の重さと他方の腕にとりつけた線輪の重さが平衡する様に皿上に分銅をのせ加減する。指針が零点に於て完全に平衡がとれた時接点 A を下降して接点 B に軽く接触させ、指針が 0.5 目盛移動するまで押しつける。測定した天秤の感量からこの際 A B 兩接点に加わる圧力は 1mg である。この様な状態にして線輪に電流を流しそれを変えることに依り前述の如き範囲に圧力を変えることが出来、その圧力は予め較正して置くことに依り直統的になし得且つ又電流の変化を連続にすることに依り、圧力の変化を連続的になし得る。

2, 2, 実装各種接点の接触抵抗測定装置

特に実験のために用意された接点でなくして実地に使用中の接点の良、不良を簡単に検出することは現場に於て機器を保守する上に於ても、亦接点の実態を調査する上に於ても極めて肝要のことである。然るに搬送通信機器に於るリレー、ジャック、電鍵等の接点の接触不良を調べるために従來のテスター等を用いて測定したのではその自藏電源電圧が高いために接点の接触面の状態が変わり、機器働作中の微弱電圧の下に於る接触抵抗とはかなり異つた値となる筈である。更に実際の複雑な回路に於て接点に線輪その他が並列に入つて居る時には接続を外さずそのままテスター等で接触抵抗を測定しても無意味である。この測定装置は搬送通信回路に於て接点部分の接続を外さずに接点の接触の良、不良を検出し、しかも電源としては搬送機器を対象にとつて 30KC の高周波電圧を用い、且つ -50db の低レベル電圧を用いて實際使用状態のまま接点抵抗の良否を測定し得るようにしてある。

次に測定装置の原理を述べる。接点の機能は接点の入っている回路の枝インピーダンスを零から無限大に、或は零から有限の或る値に急激に変化するにあるので、従つて接点と並列にインピーダンス素子がつながつて居るとしても、その値は零であることはなく、有限



第 2 図

のある値、即ち少くとも接点の接触抵抗値の程度より遙かに大きいものでなければならぬ。従つて第 2 図 (a) の如き一般接点回路に於る合成枝インピーダンスはほとんど接点の接触抵抗 r となる故、この小抵抗 r のみ測定し得て、やや大きい値に対しては無関係となるような測定回路を

選べばよいことが明である。そのため第 2 図 (b) の如き変成器回路の入力インピーダンスを考えると

$$Z_0 = R_1 + j\omega(1-k)L_1 + \frac{j\omega k L_1 \{j\omega(1-k)L_2 + R_2 + Z\} \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2}{j\omega k L_1 + \{j\omega(1-k)L_2 + R_2 + Z\} \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2} \quad (1)$$

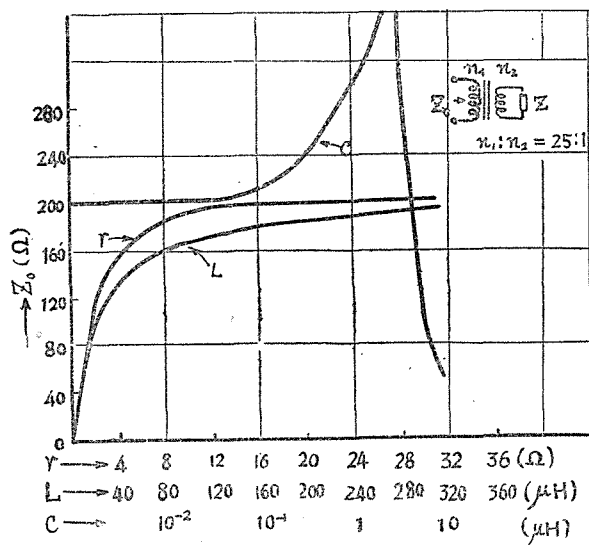
但 L_{n_1}, n_2 : 変成器の一次二次捲線数

k : 一次、二次捲線の結合係数

今 $k=1, R_1=0, R_2=0$ なる様に変成器の構造を選んだとすると

$$Z_0 = \frac{j\omega L_1 \cdot Z (n_1/n_2)^2}{j\omega L_1 + Z (n_1/n_2)^2} \quad (2)$$

Z として單純な抵抗, インダクタンス或はキャパシタンスを考えると Z は 夫等の 値 に対して第三図のように変化する。従つて若し上述の如き或る程度以上の値を有する Z が変成

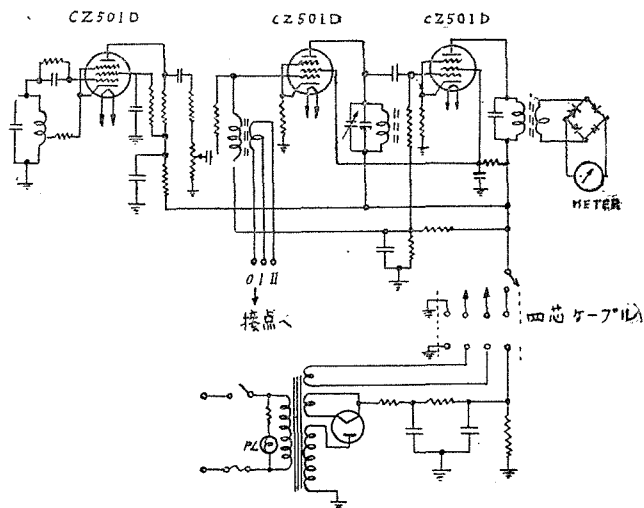


第 3 図

器の二次側に入つたとしても一次等價インピーダンスは二次解放のインピーダンスに等しく一定となり、之に並列に入つた接点の抵抗のみに依つてその入力等價インピーダンスが左右されることになる。即ち第二図 (b) の回路の入力インピーダンスを測定することに依つて接点に並列に入つたインピーダンスの影響を取り除いて、接点の接触抵抗のみ測定出来ることになる。この場合勿論接点の接触抵抗が数 Ω 以上となれば接触は不良と見なし得るから、それ以上の値のものは精密に測定する必要がない。

次に変成器入力インピーダンスを測定する爲に之に高周波の一定電流を流しその電圧降下を真空管増幅器にて増幅して之を整流し直流計器で直統的に求めることが出来るようにした。その接続図は第4図の通りである。図に於て接点

に加はる電圧は $(\frac{n_2}{n_1})$ 倍に低下させられるから増幅器の増幅度と相まつて容易に低電位差とすることが出来、この際は -50 db の低電位差即ち搬送中継器入力レベルに相当する低電位差が被測定接点に加えられる。又発振器の周波数は 80 KC に選び増幅器は 30 KC の狭帯域の選択性を与えた。これに依つて現用搬送回線に於てはその周波数に煩いさ



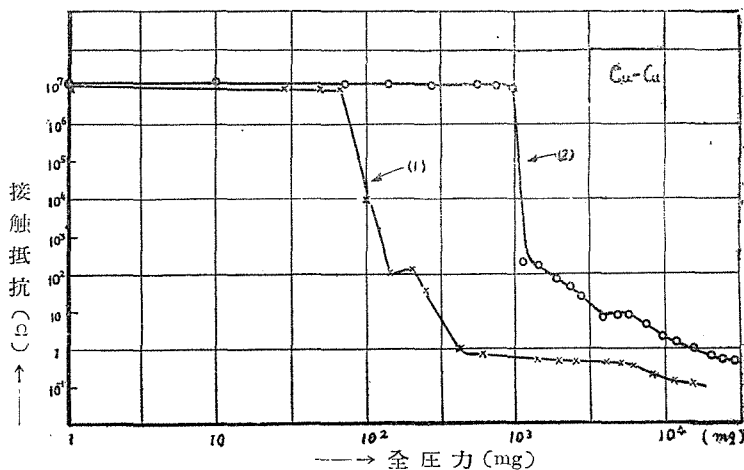
第4図 接点抵抗測定装置

れず従つて活回線中の如何なる箇所に挿入されて居る接点でも之を取外したりしないでそのまゝの状態での接触抵抗を測定することが出来る。

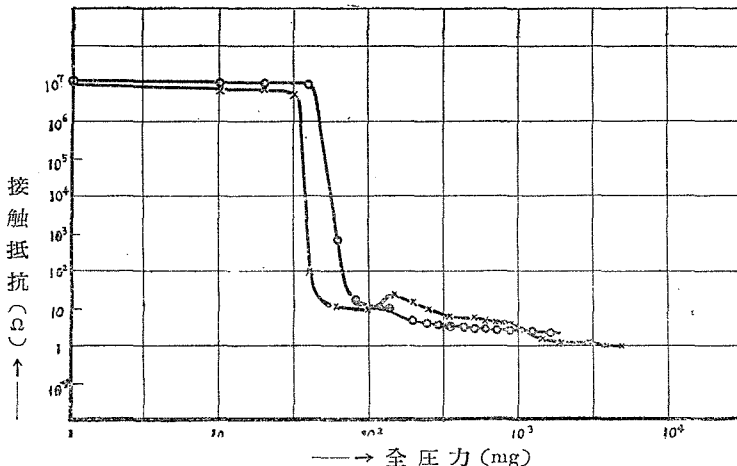
3. 微小圧力に於ける接觸抵抗の測定

一般に空氣中に於ける物体の表面は或る種の表面層に蔽れて居り殊に金属の場合は酸化皮膜等の高抵抗皮膜に蔽れて居ることが多い。従つて導体AとBとが漸次接近して接觸する場合には先づ表面層が互に接觸する。この場合は接觸抵抗は極めて大い。接觸圧力が増して導体A, B が更に接近すると導体の表面が如何に平面に磨れて居ても微視的には凹凸があると考えられるからこの凸出部に於いてまづ表面層が破れて極めて小さいが一部分が金属接觸をなす。この場合金属はまだ弾性限界内にあると考えこの様な接觸面をc面と称する。この様に表面層の一部が破れてc面接觸をなすと急激に抵抗の減少が見られる。更に圧力を増すとc面が最早弾性的でなく永久変形を生じて凸部はつぶれて接觸面は結晶粒の大きさになる。この様な接觸面をa面と云う。この様に接觸圧力が増加すれば導体A, B は漸次接近するからc面及びa面の生成はその数が増え接觸面積が増し接觸抵抗は減少する。巨視的接觸面即ち所謂 Hertz 面内に於けるa面c面以外の部分は非金屬性中間層を介して接觸して居り電氣傳導にはあまり貢獻しない。この面を普通b面と稱する。

実験は 2, 1, に於いて述べた装置を用い銅, 眞鍮, ニッケル, タングステン及び通信機



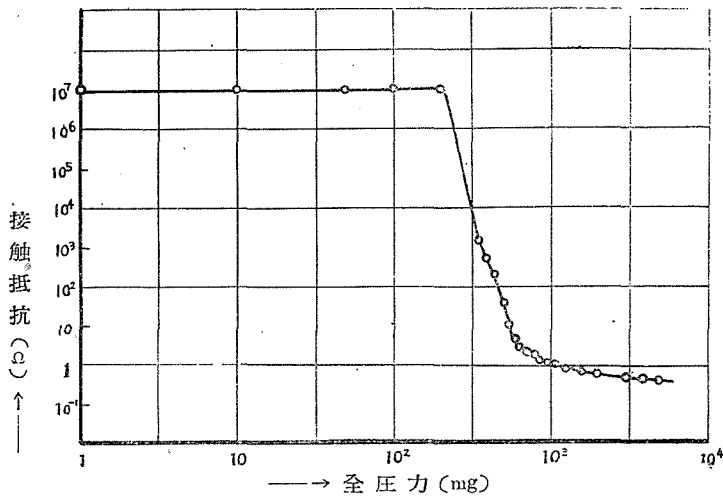
第 5 図 銅 銅接觸 (1) 研磨後時間 (2) 研磨後時間



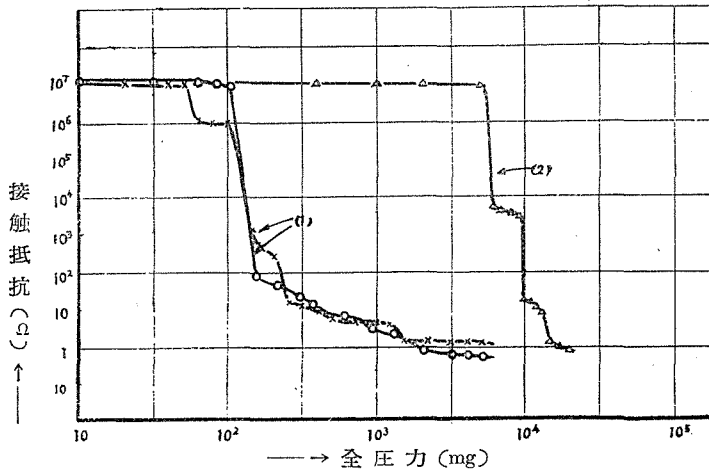
第 6 図 眞鍮-眞鍮接觸 (両面線共研磨後約21時間接觸場所を変えて実験したもの)

用の GS 合金接点についていづれも同種金属間の接觸抵抗を測定した。加えた圧力は 1 mg ~ 50 g の範囲で又電圧は $2.2 \times 10^{-1} \sim 2.2 \times 10^2$ V を加えた。又用いた接点はいづれも平面対球面接觸を採用し表面はエメリー井 05 で磨いた後バフ仕上を行い更に之をアルコールで拭いたものを用いた。印加電圧を一定として圧力を変化した場合の抵抗の変化は第 5 図乃至第 9 図に示す。

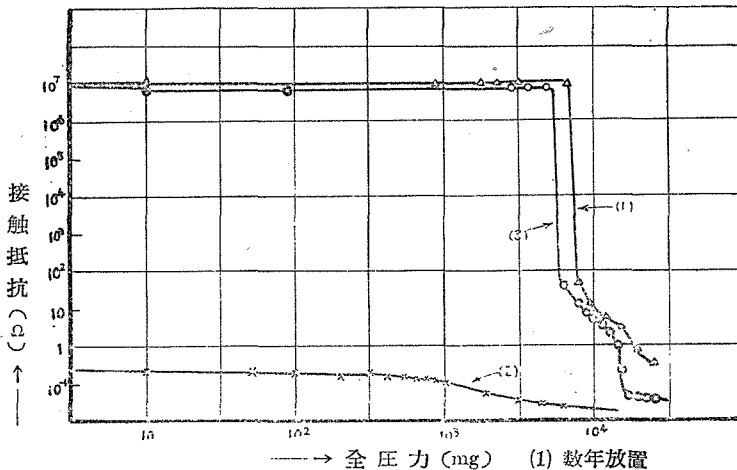
電氣接点の接触抵抗に関する二三の実験—保科



第7図 $Ni-Ni$ 接触 (研磨後 時間)



第8図 $W-W$ 接觸 (1) 電解研磨 ($0.22 A/cm^2$ 5分)
(2) 機械研磨



第9図 GS合金 (Keyの接点) (1) 数年放置
(2) 研磨直後 (3) 研磨後18日放置

割合に化学的に安定なGS合金の研磨直後のものを除いていづれも微小圧力に於いては極めて高い抵抗値を示し全面的にb面接触であることを示して居る。然るに圧力が或る程度以上になると急激な抵抗の減少が見られ更に圧力を増すと漸次抵抗の減少を來す。この際興味あることはいづれも大体に於いて高抵抗の部と次の急激な抵抗の減少の部と更にほ

$\propto P^{-\frac{1}{2}} \sim P^{-1}$ に比例する部分と三段階に分けられることである。R.Holm⁽¹⁾ に依ると接触抵抗の原因として電流集中に依る効果を挙げ次の如く与えて居る。

$$R = \frac{1}{2\lambda A} \quad (3)$$

但し λ : 導電率
A: 接触面が円であるとしてその半径、

又接触圧力が弾性限界圧力 p_f に達して居るものとし巨視的接触面全体が半径 A の円面の金属性接触をなすものとする

$$P = p_f \pi A^2 \quad (4)$$

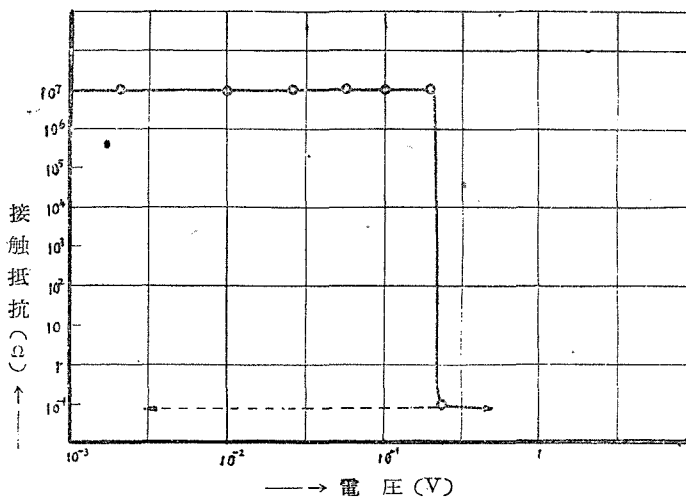
従つて

$$R = \frac{\sqrt{p_f \pi}}{2\lambda} \cdot \frac{1}{\sqrt{P}} = k P^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

又全接触圧力が n ヶの a 面に依り支えられ金属粒の大きさが一定なるものとしその半径が a であるとする

$$R = \frac{p_f \pi}{2\lambda} \cdot \frac{a}{p} = k' p^{-1} \quad (6)$$

となる。(5) は圧力の相当大きい部分、(6) は其以前の状態を表し実験に於いても圧力の大なる部分は大体この範囲内にあることが示されて居る。然し高抵抗からこの領域に移る中間の領域に於いてはこの範囲から著しく外れ、それかと云つて又完全な不連続的急変化でもなく或る傾斜を持つた変化をする。即ち二つの領域に於いてはほとんど b 面接触でさへえられ c 面接触が極くわずか存在し c 面の数及び a 面への移行が圧力の増大と共に増加するため上のいずれの式にてもあらわせないものである。従つて又これは表面異種層の種類に依つても異なるからこの傾斜もまちまちで酸化皮膜等の強固な表面層にあつては傾斜が割合にゆるやかに又弱い表面層の場合は急激な傾斜になることが考えられる。又この領域に於ける接触は上述の理由に依り極めて不安定で雑音源になることが接点に於ける雑音測定の結果明かになつたが雑音に関しては別の報告にゆすり度い。銅の如く酸化し易いものにあつては研磨後間もなく酸化皮膜の生じて居ることが表され又 GS 合金の様な酸化し難い合金も或る種の大氣中に置くと間もなく皮膜が生ずることが知られこの様な接点にあつては接触圧力は常に相当大でないで接触不良になる危険があることを示して居る。又タングステン接点に於いて電解研磨を行つたものと機械研磨を行つたものを比較実験して見るとその外見はいずれも清浄で光沢を有して居ても機械研磨を行つたものは相当強固な表面層で蔽れて居ることが知られる。次に接触圧力を一定にして置いて印加電圧を増加して行くと急激な抵抗の減小が見られる。所謂コヒーラー現象であるがその一例を示すと第10



第10図 Ag_2S-Ag

図の通りである。銀接点を多硫化アンモンで硫化して Ag_2S を表面に作りこの皮膜をもつた銀接点と純銀接点とを対向接触せしめ印加電圧を増して行くとコヒーラー現象が現れる。この電圧を測定し次の如く電解的に測定した皮膜の厚さからコヒーラー現象を生ずる電界強度を求めると $5 \times 10^4 V/cm$ の程度であつた。

皮膜の厚さの測定は可性ソーダ溶液中に於いてこの皮膜のある銀を陰極とし純銀を陽極として電解を行うと陰極は還元されて銀となるが還元が完了すると水素過電圧のた

め電解電圧が上昇するが通つた電氣量から皮膜のあつさを測定することが出来この結果は大休 R. Holm⁽³⁾ の分類する皮膜の一種に含まれ田淵、霜田氏等の同様硫化銀皮膜に関する実験結果 10^3V/cm は過小な値であると思われる。

4. 各種接点の接觸抵抗

2.2 に於て述べた接点抵抗測定装置を用いて説明用機器として本校にあつた Strowger 式自動交換機並に Siemens 式自動交換機のリレー、ジャック及電鍵の接点並に特殊通信機用押ボタン式⁽⁴⁾の接点の接觸抵抗を測定して見た。どの接点も数年以上放置してあつたもの故塵埃の堆積が甚だしく又接点そのものも相当よごれて居る。従つて接觸抵抗の大きいものが多数あつた。そこで更に接觸抵抗の大なるものを軽い羽毛を以つて丁寧に塵埃を除去して測定した所その中の幾個かは抵抗が減少して良好接觸にかへつたが依然として抵抗の減らないものも相当あつた。之等は塵埃以外の原因即ち表面層の存在に依るものと考えるのが至当であらう。即ち G. S. 合金の様に割合化学的に安定な合金でも長い年月の後には所謂錆が生じ接觸不良になることがあり得るから注意を要する。

次に試験の成績を示すと

型 式	接觸抵抗		
	0~1(Ω)	1.1~10(Ω)	10 Ω 以上
ストロージャー式 (日電製)	34	11	42
ジーノンス式	15	7	16

押ボタン式電鍵

全 数	1.1~10(Ω)	10 Ω 以上
940	41	73
羽毛にて拂拭後 ⁽⁴⁾	15	37

5. 結 言

接点の接觸抵抗を考える際は必然的に接点表面に存在する表面層が問題になり、表面層の状態とその性質を究めることが最も大切な事柄である。表面層の影響を知るためには接点の圧力を小にしてその層の機械的破壊が生じないようにして測定することが必要でありそのため微小圧力印加装置を考案し使用した所大体所期の目的を達し割合簡便に微小圧力に於ける接觸抵抗を測定することが出来た。その結果大抵の金属は皮膜を有し圧力が減少すると有害な影響を与えるから接点のバネの不良が大きな影響のあることが分つた。又圧力を可変にして接觸抵抗の変化を求めると従來の説に従う領域の外にも一つの領域があることが分つた。又通信機の接点を現場に於て実動のまゝ測定する測定器を考案製作した。その試験成績を見ると接点の不良の案外多いのを知ると同時に GS 合金の様な化学的に安定な接点でも表面層を生ずることもあることが分つた。更に多数の実動通信機の接点を試験すればより瞭りした結果が得られることと思うがこれは今後の問題である。

最後に懇切な御指導を賜つた東北大学渡辺寧博士、電氣通信省通信研究所岡村進博士、

本校大高博士並に本校電氣科教官各位に対し又実験を手傳われた木村榮,有川忠義,松下周三郎,佐藤文一,岩瀬榮治,遠藤正の各氏に対して深甚な謝意を表する次第である。

文 献

- (1) R. Holm : Wiss. Veröff. a. d. Siem. Konz. 7 S. 217 (1929)
- (2) 田淵- 霜田 : 銀接点の錆について 昭23.電氣三学会東京支部大会
- (3) R. Holm :Wiss. Veröff a. d. Siem. Konz. 10H4. S. 1 (1931)

**SOME EXPERIMENTS ON THE CONTACT
RESISTANCE OF ELECTRIC CONTACTS.**

Syokiti HOSINA

(Dep. of Elect. Eng.; Faculty of Eng.)

This paper describes two measuring apparatuses devised by the author. One is an electric balance which gives a very small adjustable pressure between two pieces of contacting metal, and the other is an apparatus which can easily measure the contact resistance of contacts in a carrier communication set in operation. It also reports some results of experiments by the above measuring apparatuses.